

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

#5
PB
3/4/03

JCES5 U.S. PTO
09/997646



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日
Date of Application:

2000年12月 1日

出願番号
Application Number:

特願2000-366846

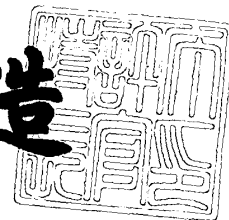
出願人
Applicant(s):

株式会社ニコン

2001年10月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3092106

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-00148

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
内

【氏名】 沖野 輝昭

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン
内

【氏名】 河田 真太郎

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

【識別番号】 100100413

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡部 温

【選任した代理人】

【識別番号】 100110858

【弁理士】

【氏名又は名称】 柳瀬 睦肇

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033189

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0003412

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 荷電粒子ビーム露光装置、荷電粒子ビーム露光方法及びデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 感応基板上に転写すべきパターンを有するマスクに荷電粒子ビーム（照明ビーム）を当てる照明光学系と、

前記マスクを通過した荷電粒子ビームを感応基板上に投影結像させる投影光学系と、

を備える荷電粒子ビーム露光装置であって；

前記マスクには、前記照明ビームが比較的散乱を受けないで透過する低散乱部及び／又は孔、並びに、前記照明ビームが比較的高い散乱を受けて透過する高散乱部、が形成されており、

前記投影光学系中の前記マスク寄りのレンズの後焦点面位置と前記マスクとの間で、前記マスクの高散乱部で散乱を受けた荷電粒子ビームの 90% 以上を遮るように構成されていることを特徴とする荷電粒子ビーム露光装置。

【請求項 2】 前記マスク寄りのレンズの後焦点面位置と前記マスクとの間に、投影光学系光軸部には孔を有する複数段の散乱荷電粒子ビーム遮蔽板が設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の荷電粒子ビーム露光装置。

【請求項 3】 前記孔が荷電粒子ビームの偏向方向に帯状に延びる長孔であることを特徴とする請求項 2 記載の荷電粒子ビーム露光装置。

【請求項 4】 前記照明ビームの加速電圧が 50 kV 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の荷電粒子ビーム露光装置。

【請求項 5】 感応基板上に転写するパターンを有するマスクを荷電粒子ビーム（照明ビーム）で照明し、マスクを通過してパターン化された荷電粒子ビーム（パターンビーム）を感応基板上に投影結像させる荷電粒子ビーム露光方法であって；

前記マスクには、前記照明ビームが比較的散乱を受けないで透過する低散乱部及び／又は孔、並びに、前記照明ビームが比較的高い散乱を受けて透過する高散乱部を形成し、

前記投影光学系中の前記マスク寄りのレンズの後焦点面位置と前記マスクとの間で、前記マスクの高散乱部で散乱を受けた荷電粒子ビームの90%以上を遮ることを特徴とする荷電粒子ビーム露光方法。

【請求項6】 荷電粒子ビームを用いたリソグラフィー工程において、請求項5記載の荷電粒子ビーム露光方法を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、主に、半導体集積回路等のリソグラフィーに用いられる電子線やイオンビームを用いる荷電粒子ビーム露光装置及び露光方法に関する。また、そのような荷電粒子ビーム露光装置・露光方法を用いてリソグラフィー工程を行うデバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体集積回路の集積度はますます上り、その回路パターンは一層微細化している。従来、半導体ウェハのパターン転写には光ステッパーが主に用いられてきた。この転写のための原版となるマスクは電子線で描画作成するのが通常である。さらに、より高集積・超微細のパターンをデバイス上に形成するため、各ウェハの露光にも電子線露光を用いるとの提案がなされている。

【0003】

しかしながら、電子線露光はスループットが低いのが欠点であり、この欠点を解消すべく様々な技術開発がなされてきた。現在では、セルプロジェクション、キャラクタープロジェクションあるいはブロック露光と呼ばれる図形部分一括露光方式が実用化されている。図形部分一括露光方式では、繰り返し性のある回路小パターン（ウェハ上で5 μ m角程度）を、同様の小パターンが複数種類形成されたマスクを用いて、1個の小パターンを一単位として繰り返し転写露光を行う。しかし、この方式でも、繰り返し性のないパターン部分については可変成形方式の描画を行う。

【 0 0 0 4 】

一方、図形部分一括露光方式よりも飛躍的に高いスループットをねらう電子線転写露光方式として、一個の半導体チップ全体の回路パターンを備えたマスクを準備し、そのマスクのある範囲に電子線を照射し、その照射範囲のパターンを投影レンズにより縮小転写する電子線縮小転写装置が提案されている。

【 0 0 0 5 】

この種の装置では、マスクの全範囲に一括して電子線を照射して一度にチップパターン全体を転写しようとする、精度良くパターンを転写することができない。また、原版となるマスクの製作が困難である。そこで、最近精力的に検討されている方式は、1ダイ（ウェハ上のチップ）又は複数ダイを一度に露光するのではなく、パターンは小さな領域（サブフィールド）に分割して転写露光し、ウェハ上では各サブフィールド上のパターンの像を繋ぎ合わせてチップパターン全体を形成するという方式である（ここでは分割転写方式と呼ぶこととする）。各サブフィールドの転写毎に光学系の収差や倍率・位置補正を行うことにより高精度のパターン形成を行うことができる。なお、各サブフィールドを露光する際には、電子光学系内で電子線を偏向したり、マスクやウェハを機械的に移動させる。

【 0 0 0 6 】

上記セルプロジェクションでは、通常、厚さ $20\mu\text{m}$ 程度の比較的厚い Si 膜（非パターン部）に孔明きパターンが微細加工された、いわゆる吸収ステンシルマスクが使用される。この吸収ステンシルマスクでは、非孔明き部（非パターン部）に当たったビームは吸収され、孔明きパターン部ではビームが通過することによりパターン化されたビームが得られる。

【 0 0 0 7 】

分割転写方式でも、当初は吸収ステンシルマスクの使用が検討された。

しかしながら、電子ビーム転写露光のさらなる高スループット化に向けてビーム電流を一層増大させる動きが進んでおり、吸収ステンシルマスクでは対応できなくなっている。というのは、非パターン部で吸収された電子ビームはマスクのヒートアップを起こすが、ビーム電流増大によってこのヒートアップに起因

するマスクの熱膨張が重大な問題となるからである。

【0008】

そこで、メンブレン部（非パターン部）に当たったビームも、散乱されるだけでほとんど吸収されることなくマスクを透過する散乱ステンシルマスクが提案されるに至った。散乱ステンシルマスクでは、孔明きパターンを通過するビームは散乱されず、メンブレン部を透過するビームは散乱される。そして、投影光学系中には、マスク面のフーリエ面となる投影レンズのビーム収束面（レンズの後焦点面）又はその近傍に、マスクで散乱された電子ビームを捕捉してウェハ方向への通過を阻止するコントラスト開口（絞リ）を設けて散乱されたビームを排除し、ウェハ上には散乱されなかったビームを結像させてパターンのコントラストを得る。

【0009】

ところで、ステンシルマスクでは、孔明き部の中央に島状の非孔明き部を設けることはできない。島状の非孔明き部を構成する膜の部分が、重力に対してサポートできないからである。このような不都合をドーナッツパターン問題などという。

この問題に対処するには、島状の非孔明き部の周りをぐるりと囲む孔明き部を分けて別々の二つのパターン領域に形成し、該二つのパターン領域を別々にウェハに投影露光する。そして、ウェハ上で二つの孔明き部を繋げて一周分の露光部とその中央の島状の非露光部を形成する。このような手法をパターンのコンプリメンタリー分割という。しかし、このコンプリメンタリー分割を行うと、1つのパターンを形成するのに2回露光を行わなければならない、露光のスループットがその分低下するので好ましくない。

【0010】

そこで、照明ビームが比較的散乱を受けないで透過する薄い基膜上に、照明ビームが比較的高い散乱を受けて透過するパターン膜（高散乱体膜）を形成した散乱メンブレンマスクが提案された。この散乱メンブレンマスクは、上述の島状パターンも、1つのマスクを用いた1回の露光で形成できるのでスループットを向上できる。

【 0 0 1 1 】

特公平 8 - 3 4 1 6 9 には、散乱メンブレンマスクを用いる荷電粒子ビーム露光装置の一例が示されている。この例では、レンズの後焦点面に小さな孔（開口）を設けた絞りを設置し、マスクで散乱された電子ビームのほとんどを遮るようにしている。

【 0 0 1 2 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特公平 8 - 3 4 1 6 9 の方法においては、以下のような問題点がある。

（１）マスクで散乱された電子ビームの多くが絞りに当たる。この散乱電子の衝突エネルギーにより、絞りの温度が上昇する。絞りの温度が上昇すると、絞り部材が熱膨張を起こし、マスク非散乱部からウェハに入射するの電子ビーム露光照射量が変動してしまう。

（２）小さな孔の周辺に多くの電子ビームが照射されるため、コンタミネーション（beam-induced specimen contamination）が多く発生し、電子ビーム露光装置の運用面で種々の障害を引き起こす。

【 0 0 1 3 】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであって、安定した荷電粒子ビームにより高精度の露光を行うことができる荷電粒子ビーム露光装置等を提供することを目的とする。

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するため、本発明の荷電粒子ビーム露光装置は、感応基板上に転写すべきパターンを有するマスクに荷電粒子ビーム（照明ビーム）を当てる照明光学系と、前記マスクを通過した荷電粒子ビームを感応基板上に投影結像させる投影光学系と、を備える荷電粒子ビーム露光装置であって；前記マスクには、前記照明ビームが比較的散乱を受けないで透過する低散乱部及び／又は孔、並びに、前記照明ビームが比較的高い散乱を受けて透過する高散乱部、が形成されており、前記投影光学系中の前記マスク寄りのレンズの後焦点面位置

と前記マスクとの間で、前記マスクの高散乱部で散乱を受けた荷電粒子ビームの 90%以上を遮るように構成されていることを特徴とする。

これにより、後焦点面位置に設置するコントラスト開口（絞り）の温度上昇によるビームの不安定化やコンタミネーションによる悪影響を抑制できる。

【0015】

上記荷電粒子ビーム露光装置においては、前記マスク寄りのレンズの後焦点面位置と前記マスクとの間に、投影光学系光軸部には孔を有する複数段の散乱荷電粒子ビーム遮蔽板を設けることができる。

このようにして、後焦点面より上方に複数の遮蔽板を設けることにより、数段階に分けて散乱分子を遮ることができるので、遮蔽板の温度上昇によるビームの不安定化が抑制できる。また、遮蔽板は大きな開口で形成することができるので、コンタミネーションによる悪影響を抑制できる。

【0016】

上記荷電粒子ビーム露光装置においては、前記孔が荷電粒子ビームの偏向方向に帯状に延びる長孔であることが好ましい。

これにより、偏向走査ビームを遮ることなく散乱電子を遮断できる。

【0017】

前記荷電粒子ビーム露光装置においては、前記照明ビームの加速電圧が 50 kV 以上であることが好ましい。

【0018】

本発明の荷電粒子ビーム露光方法は、感応基板上に転写するパターンを有するマスクを荷電粒子ビーム（照明ビーム）で照明し、マスクを通過してパターン化された荷電粒子ビーム（パターンビーム）を感応基板上に投影結像させる荷電粒子ビーム露光方法であって；前記マスクには、前記照明ビームが比較的散乱を受けないで透過する低散乱部及び／又は孔、並びに、前記照明ビームが比較的高い散乱を受けて透過する高散乱部を形成し、前記投影光学系中の前記マスク寄りのレンズの後焦点面位置と前記マスクとの間で、前記マスクの高散乱部で散乱を受けた荷電粒子ビームの 90%以上を遮ることを特徴とする。

【0019】

本発明のデバイス製造方法は、上記の荷電粒子ビーム露光方法を用いるリソグラフィ工程を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しつつ説明する。

まず、分割転写方式の電子線投影露光技術の概要について説明する。

図 2 は、分割転写方式の電子線投影露光装置の光学系全体における結像関係及び制御系の概要を示す図である。

光学系の最上流に配置されている電子銃 1 は、下方に向けて電子線を放射する。電子銃 1 の下方には 2 段のコンデンサレンズ 2、3 が備えられており、電子線は、これらのコンデンサレンズ 2、3 によって収束されブランキング開口 7 にクロスオーバー C.O. を結像する。

【 0 0 2 1 】

二段目のコンデンサレンズ 3 の下には、矩形開口 4 が備えられている。この矩形開口（照明ビーム成形開口）4 は、マスク 10 の一つのサブフィールド（露光の 1 単位となるパターン小領域）を照明する照明ビームのみを通過させる。この開口 4 の像は、レンズ 9 によってマスク 10 に結像される。

【 0 0 2 2 】

ビーム成形開口 4 の下方には、ブランキング偏向器 5 が配置されている。同偏向器 5 は、必要時に照明ビームを偏向させてブランキング開口 7 の非開口部に当て、ビームがマスク 10 に当たらないようにする。

ブランキング開口 7 の下には、照明ビーム偏向器 8 が配置されている。この偏向器 8 は、主に照明ビームを図 2 の横方向（X 方向）に順次走査して、照明光学系の視野内にあるマスク 10 の各サブフィールドの照明を行う。偏向器 8 の下方には、照明レンズ 9 が配置されている。照明レンズ 9 は、マスク 10 上にビーム成形開口 4 を結像させる。

【 0 0 2 3 】

マスク 10 は、実際には（図 3 を参照しつつ後述）光軸垂直面内（X-Y 面）に広がっており、多数のサブフィールドを有する。マスク 10 上には、全体とし

て一個の半導体デバイスチップをなすパターン（チップパターン）が形成されている。

マスク10は移動可能なマスクステージ11上に載置されており、マスク10を光軸垂直方向（YX方向）に動かすことにより、照明光学系の視野よりも広い範囲に広がるマスク上の各サブフィールドを照明することができる。

マスクステージ11には、レーザ干渉計を用いた位置検出器12が付設されており、マスクステージ11の位置をリアルタイムで正確に把握することができる。

【0024】

マスク10の下方には投影レンズ15及び19並びに偏向器16が設けられている。マスク10の1つのサブフィールドを通過した電子線は、投影レンズ15、19、偏向器16によってウェハ23上の所定の位置に結像される。投影レンズ15、19及び偏向器16（像位置調整偏向器）の詳しい作用については、図4を参照して後述する。ウェハ23上には、適当なレジストが塗布されており、レジストに電子線のドーズが与えられ、マスク上のパターンが縮小されてウェハ23上に転写される。

【0025】

マスク10とウェハ23の間を縮小率比で内分する点にクロスオーバーC.O.（レンズの後焦点）が形成され、同クロスオーバー位置（後焦点面）の上方には複数段の遮蔽板18が設けられている。遮蔽板18は、マスク10で散乱された電子線がウェハ23に到達しないよう遮断する。この遮蔽板18の詳細については後述する。

【0026】

ウェハ23の直上には反射電子検出器22が配置されている。この反射電子検出器22は、ウェハ23の被露光面やステージ上のマークで反射される電子の量を検出する。例えばマスク10上のマークパターンを通過したビームでウェハ23上のマークを走査し、その際のマークからの反射電子を検出することにより、マスク10と23の相対的位置関係を知ることができる。

【0027】

ウェハ 2 3 は、静電チャック（図示されず）を介して、X Y 方向に移動可能なウェハステージ 2 4 上に載置されている。上記マスクステージ 1 1 とウェハステージ 2 4 とを、互いに逆の方向に同期走査することにより、投影光学系の視野を越えて広がるチップパターン内の各部を順次露光することができる。なお、ウェハステージ 2 4 にも、上述のマスクステージ 1 1 と同様の位置検出器 2 5 が装備されている。

【 0 0 2 8 】

上記各レンズ 2、3、9、15、19 及び各偏向器 5、8、16 は、各々のコイル電源制御部 2 a、3 a、9 a、15 a、19 a 及び 5 a、8 a、16 a を介してコントローラ 3 1 によりコントロールされる。また、マスクステージ 1 1 及びウェハステージ 2 4 も、ステージ制御部 1 1 a、2 4 a を介して、制御部 3 1 によりコントロールされる。ステージ位置検出器 1 2、2 5 は、アンプや A/D 変換器等を含むインターフェース 1 2 a、2 5 a を介してコントローラ 3 1 に信号を送る。また、反射電子検出器 2 2 も同様のインターフェース 2 2 a を介してコントローラ 3 1 に信号を送る。

【 0 0 2 9 】

コントローラ 3 1 は、ステージ位置の制御誤差を把握し、その誤差を像位置調整偏向器 1 6 で補正する。これにより、マスク 1 0 上のサブフィールドの縮小像がウェハ 2 3 上の目標位置に正確に転写される。そして、ウェハ 2 3 上で各サブフィールド像が繋ぎ合わされて、マスク上のチップパターン全体がウェハ上に転写される。

【 0 0 3 0 】

次に、分割転写方式の電子線投影露光に用いられるマスクの詳細例について、図 3 を参照しつつ説明する。

図 3 は、電子線投影露光用のマスクの構成例を模式的に示す図である。（A）は全体の平面図であり、（B）は一部の斜視図であり、（C）は一つの小メンブレン領域の平面図である。このようなマスクは、例えばシリコンウェハに電子線描画・エッチングを行うことにより製作できる。

【 0 0 3 1 】

図 3 (A) には、マスク 1 0 における全体のパターン分割配置状態が示されている。同図中に多数の正方形 4 1 で示されている領域が、一つのサブフィールドに対応したパターン領域を含む小メンブレン領域（厚さ $0.1 \mu\text{m} \sim \text{数} \mu\text{m}$ ）である。図 3 (C) に示すように、小メンブレン領域 4 1 は、中央部のパターン領域（サブフィールド）4 2 と、その周囲の額縁状の非パターン領域（スカート 4 3）とからなる。サブフィールド 4 2 は転写すべきパターンの形成された部分である。スカート 4 3 はパターンの形成されていない部分であり、照明ビームの縁の部分が当たる。パターン形成の形態としては、電子線を散乱するメンブレンに孔開き部を設けるステンシルタイプと、電子線の高散乱体からなるパターン層を電子線を透過させるメンブレン上に形成する散乱メンブレンタイプとがある。本発明は両タイプのマスクに適用できる。

【 0 0 3 2 】

一つのサブフィールド 4 2 は、現在検討されているところでは、マスク上で $0.5 \sim 5 \text{mm}$ 角程度の大きさを有する。投影の縮小率を $1/5$ とすると、サブフィールドがウェハ上に縮小投影された投影像の大きさは、 $0.1 \sim 1 \text{mm}$ 角である。小メンブレン領域 4 1 の周囲の直交する格子状のグリレージと呼ばれる部分 4 5 は、マスクの機械強度を保つための、例えば厚さ $0.5 \sim 1 \text{mm}$ 程度の梁である。グリレージ 4 5 の幅は、例えば 0.1mm 程度である。なお、スカート 4 3 の幅は、例えば 0.05mm 程度である。

【 0 0 3 3 】

図 3 (A) に示すように、図の横方向（X 方向）に多数の小メンブレン領域 4 1 が並んで一つのグループ（エレクトリカルストライプ 4 4）をなし、そのようなエレクトリカルストライプ 4 4 が図の縦方向（Y 方向）に多数並んで 1 つのメカニカルストライプ 4 9 を形成している。エレクトリカルストライプ 4 4 の長さ（メカニカルストライプ 4 9 の幅）は照明光学系の偏向可能視野の大きさに対応している。なお、一つのエレクトリカルストライプ 4 4 内における隣り合うサブフィールド間に、スカートやグリレージのような非パターン領域を設けない方式も検討されている。

【 0 0 3 4 】

メカニカルストライプ49は、X方向に並列に複数存在する。

隣り合うメカニカルストライプ49の間にストラット47として示されている幅の太い梁は、マスク全体のたわみを小さく保つためのものである。ストラット47はグリレージ45と一体である。

【0035】

現在有力と考えられている方式によれば、1つのメカニカルストライプ（以下単にストライプと呼ぶ）49内のX方向のサブフィールド42の列（エレクトリカルストライプ44）は電子線偏向により順次露光される。一方、ストライプ49内のY方向の列は、連続ステージ走査により順次露光される。

【0036】

図4は、マスクからウェハへのパターン転写の様子を模式的に示す斜視図である。図の上部にマスク10上の1つのストライプ49が示されている。ストライプ49には上述のように多数のサブフィールド42（スカートについては図示省略）及びグリレージ45が形成されている。図の下部には、マスク10と対向するウェハ23が示されている。

【0037】

この図では、マスク上のストライプ49の一番手前のエレクトリカルストライプ44の左隅のサブフィールド42-1が上方からの照明ビームIBにより照明されている。そして、サブフィールド42-1を通過したパターンビームPBが、2段の投影レンズと像位置調整偏向器（図2参照）の作用によりウェハ23上の所定の領域52-1に縮小投影されている。

パターンビームPBは、マスク10とウェハ23の間で、2段の投影レンズの作用により、光軸と平行な方向から光軸と交差する方向へ、そしてその逆に計2回偏向される。

【0038】

ウェハ23上におけるサブフィールド像の転写位置は、マスク10とウェハ23との間の光路中に設けられた偏向器（図2の符号16）により、各パターン小領域42に対応する被転写小領域52が互いに接するように調整される。すなわち、マスク上のパターン小領域42を通過したパターンビームPBを第1投影レ

ンズ及び第2投影レンズでウェハ23上に収束させるだけでは、マスク10のパターン小領域42のみならずグリレージ45及びスカートの像までも所定の縮小率で転写することとなり、グリレージ45等の非パターン領域に相当する無露光領域が各被転写小領域52の間に生じる。このようにならないよう、非パターン領域の幅に相当する分だけパターン像の転写位置をずらしている。

なお、X方向とY方向に位置調整用偏向器が設けられている。

【0039】

ここで、電子ビームの散乱について説明する。

マスク10の散乱部から散乱した電子ビームは相当な範囲に広がる。その散乱角は電子ビームの加速電圧や、マスク10に用いる散乱物質、マスク10の膜厚等により変化する。特に、最近企図されている露光装置に用いられる膜厚のマスクを用いて、100kV程度の加速電圧で電子ビームを照射する場合には、相当広い範囲に散乱する。

【0040】

ステンスルマスクで検討されている電子散乱のシミュレーションと実測の例が、八尋らによる99年秋第60回応用物理学会4a-E-4に開示されている。この例では、2 μ m厚のSiメメンブレンマスクを用い、50～140kVの加速電圧で電子ビームを照射している。

図5は、マスクの散乱部から散乱した電子ビームの電子散乱角度分布を示す図である。

図6は、マスクの散乱部から散乱した電子ビームの電子散乱分布に対する散乱率を示す図である。図6は、図5の電子散乱の円周上を単位散乱角で積分したものである。

【0041】

図5には、横軸に散乱した電子ビームの電子散乱角度分布が示されており、縦軸にそのときの電流値が示されている。図5中には、シミュレーションデータが実線で示されており、実験データが点で示されている。この例では、散乱角が0radのときはおよそ0.4nAの電流が流れるが、散乱角が100mradのときは0.2nAであり、散乱角が300mradのときはおよそ0.03nAの電流しか流れな

い。

【 0 0 4 2 】

図 6 は、図 5 の電子散乱の円周上を単位散乱角で積分したものである。図 6 の横軸は電子散乱角度を示しており、縦軸はマスクを透過する電子ビームに対する散乱電子の率を示している。図 6 中にも、シミュレーションデータが実線で示されており、実験データが点で示されている。この例では、散乱角が 0 rad のときの散乱電子の率はおよそ 0.2 % であるが、散乱角が 100 mrad のときは 2.8 % であり、散乱角が 300 mrad のときはおよそ 1.4 % であった。

【 0 0 4 3 】

また、SCALPEL で検討されている電子散乱の例が、Mkrtchan らによる J. Vac. Sci. Technol. B16, 3385, 1998 に開示されている。ここには、2 つの例が示されている。1 つは、350 nm 厚の Si_3N_4 メンブレンに 200 nm 厚の W (タングステン) 散乱層を付加した散乱メンブレンを用い、120 kV 程の加速電圧で電子ビームを照射する例である。他方は、50 nm 厚の Si_3N_4 メンブレンに 50 nm 厚の W (タングステン) 散乱層を付加した散乱メンブレンを用い、120 kV 程の加速電圧で電子ビームを照射する例である。

【 0 0 4 4 】

図 7 は、アパーチャの開口角に対する透過率及びコントラストを示す図である。図 7 の横軸は電子散乱角度を示しており、縦軸はマスクを透過する電子ビームの透過率とコントラストを示している。図 7 中には、シミュレーションデータが線で示されており、実験データが点で示されている。

【 0 0 4 5 】

図 7 において透過率は、開口角が大きくなるに従って通過する電子線が増えるので、高くなる。開口角が 0 mrad のときは、前者 (350 nm 厚の Si_3N_4 メンブレンに 200 nm 厚の W 散乱層を付加した散乱メンブレン) を用いた場合 (71)、透過率はほぼ 0 になり、後者 (50 nm 厚の Si_3N_4 メンブレンに 50 nm 厚の W 散乱層を付加した散乱メンブレン) を用いた場合 (73)、60 % 程になる。

【 0 0 4 6 】

ところで、現在想定されている電子線露光装置の投影光学系の後焦点面に形成

されるクロスオーバ像は、通常 1 ～ 2 mm 程度である。光学的な観点から、非散乱部を通過した電子線は全てこのクロスオーバ点を通してウェハ 2 3 面へ照射される。そのため、散乱電子を遮るための絞り 1 8 を後焦点面位置に設置する場合には、絞り 1 8 の開口をクロスオーバ像より大きく設定する。この開口の径は、クロスオーバ像径が 1 ～ 2 mm 程度の場合、例えば 4 ～ 5 mm 程度である。

【 0 0 4 7 】

図 8 は、露光装置の投影光学系と電子散乱分布との関係を示す概略図である。図 8 の上部には、マスク 1 0 が示されている。マスク 1 0 を通過した電子線は、下方の後焦点面にある絞り 1 8 に到達する。

この図において、マスク 1 0 から絞り 1 8 までの距離を L 、電子散乱角を α とすると、散乱角 α に対して L が十分に大きい場合に、後焦点面位置での散乱電子の広がり $L \times \alpha$ となる。この散乱電子の広がり $L \times \alpha$ が、絞り 1 8 の図の上部に電子線の散乱分布 8 1 として図示されている。

【 0 0 4 8 】

例えば、 $2 \mu\text{m}$ 厚の Si メンブレンマスクを用い、100 kV 程の加速電圧で電子線を照射する。このとき、マスク 1 0 から絞り 1 8 までの距離 L を 300 mm、鏡筒内の平均電子ビームパス径を 10 mm とすると、散乱角（開き半角） α は、 $10 \text{ mm} / (2 \times 300 \text{ mm})$ であるので、約 17 mrad となる。ここで、図 6 を参照すると、散乱角が 17 mrad のときには、散乱電子率は 1 % 以下である。すなわち、この場合は、マスクで散乱する電子線の 99 % 以上はコントラスト開口に至る前に鏡胴等に当たることである。したがって、電子散乱率がこの程度であれば、絞り 1 8 を後焦点面位置に設置せずにもっと上部に大きな径の開口板を置いても、十分に絞りの効果が得られる。

【 0 0 4 9 】

ここで、本発明の実施の形態に係る荷電粒子ビーム露光装置の投影光学系における散乱電子遮蔽板の詳細について説明する。

図 1 は、本発明の実施の形態に係る荷電粒子ビーム露光装置の投影光学系における散乱電子遮蔽板の詳細を示す図である。図 1 (A) は光学系を模式的に示す図であり、図 1 (B) は遮蔽板の平面図である。

【 0 0 5 0 】

図 1 (A) の図の上部には、マスク 1 0 が示されている。マスク 1 0 の下方には、第 1 投影レンズ 1 5 が設置されている。本発明においては、第 1 投影レンズ 1 5 の下方に、2 枚の開口部の広い遮蔽板（絞り）9 1、9 3 を設置する。上方にある遮蔽板 9 1 の開口部は、下方にある遮蔽板 9 3 の開口部より大きい。遮蔽板 9 3 の下方の後焦点面には、クロスオーバ像が形成されている。後焦点面の下方には、第 2 投影レンズ 1 9 が設置されている。第 2 投影レンズ 1 9 の下方には、ウェハ 2 3 が示されている。

【 0 0 5 1 】

図 1 (A) 中には、第 1 投影レンズ 1 5 を通過した散乱電子 9 5、9 7 が破線で示されている。散乱角の大きい散乱電子 9 5 は、上方にある遮蔽板 9 1 で遮られる。散乱角の小さい散乱電子 9 7 は、下方にある遮蔽板 9 3 で遮られる。

【 0 0 5 2 】

図 1 (B) には、遮蔽板 9 1、9 3 の平面図が示されている。遮蔽板 9 1、9 3 の中央部分には、孔 9 9 が設けられている。孔 9 9 は、荷電粒子ビームの偏向方向に合わせて帯状に延びている。孔 9 9 の長さ B は、偏向走査ビームの偏向量に合わせて形成する。孔 9 9 の幅 H は、図 1 (A) に示したように、散乱電子を遮るように、散乱角と設置位置を考慮して決める。

【 0 0 5 3 】

このようにして、後焦点面より上方に複数の遮蔽板を設けることにより、数段階に分けて散乱分子を遮ることができるので、遮蔽板の温度上昇によるビームの不安定化が抑制できる。また、遮蔽板により大きな開口を形成することができるので、コンタミネーションによる悪影響を抑制できる。

【 0 0 5 4 】

ところで、通常後焦点面位置以外の所に絞りを設置すると、ウェハ面に転写されるマスク像の像質が劣化するおそれもある。しかし、本発明の遮蔽板のように大きな開口を有する場合には、像質を劣化させることなく散乱電子を遮ることができる。

散乱電子によるわずかなかぶりが問題になる場合には、従来のように後焦点面

位置に絞り 1 8 を設けることができる。この場合には、この絞り 1 8 より上方にある遮蔽板 9 1、9 3 で散乱分子のほとんどが遮られているので、絞り 1 8 の温度上昇やコンタミネーションの問題は軽減される。

【 0 0 5 5 】

次に上記説明した電子線転写露光装置を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。

図 9 は、微小デバイス（I C や L S I 等の半導体チップ、液晶パネル、C C D、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造のフローを示す。

【 0 0 5 6 】

ステップ 1（回路設計）では、半導体デバイスの回路設計を行う。

ステップ 2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。この時、パターンについて局部的にリサイズを施すことにより近接効果や空間電荷効果によるビームボケの補正を行ってもよい。

一方、ステップ 3（ウェハ製造）では、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。

【 0 0 5 7 】

ステップ 4（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ 5（C V D）では、ウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ 6（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 7（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ 8（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ 9（電子ビーム露光）では、ステップ 2 で作ったマスクを用いて電子ビーム転写装置によって、マスクの回路パターンをウェハに焼付露光する。その際、上述の露光装置・方法を用いる。ステップ 1 0（光露光）では、同じくステップ 2 で作った光露光用マスクを用いて、光ステッパーによってマスクの回路パターンをウェハに焼付露光する。この前又は後に、電子ビームの後方散乱電子を均一化する近接効果補正露光を行ってもよい。

【 0 0 5 8 】

ステップ 1 1（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ 1 2（エッチング）では、レジスト像以外の部分を選択的に削り取る。ステップ 1 3（レジ

スト剥離)では、エッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。ステップ4からステップ13を繰り返す行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0059】

ステップ14(組立)は、後工程と呼ばれ、上の工程によって作製されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ15(検査)では、ステップ14で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成しこれが出荷(ステップ16)される。

【0060】

以上図1～図9を参照しつつ、本発明の実施の形態に係る荷電粒子ビーム露光装置等について説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、様々な変更を加えることができる。

【0061】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、安定した荷電粒子ビームにより高精度な露光を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態に係る荷電粒子ビーム露光装置の投影光学系における散乱電子遮蔽板の詳細を示す図である。図1(A)は光学系を模式的に示す図であり、図1(B)は遮蔽板の平面図である。

【図2】

分割転写方式の電子線投影露光装置の光学系全体における結像関係及び制御系の概要を示す図である。

【図3】

電子線投影露光用のマスクの構成例を模式的に示す図である。(A)は全体の平面図であり、(B)は一部の斜視図であり、(C)は一つの小メンブレン領域

の平面図である。

【図 4】

マスクからウェハへのパターン転写の様子を模式的に示す斜視図である。

【図 5】

マスクの散乱部から散乱した電子ビームの電子散乱角度分布を示す図である。

【図 6】

マスクの散乱部から散乱した電子ビームの電子散乱分布に対する散乱率を示す図である。

【図 7】

マスクの開口角に対する透過率及びコントラストを示す図である。

【図 8】

露光装置の照明光学系と電子散乱分布との関係を示す概略図である。

【図 9】

微小デバイス（IC や LSI 等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造のフローを示す。

【符号の説明】

1	電子銃	2, 3	コンデンサレンズ
4	照明ビーム成形開口	5	ブランキング偏向器
7	ブランキング開口	8	照明ビーム偏向器
9	コンデンサレンズ	10	マスク
11	マスクステージ	12	マスクステージ位置検出器
15	第1投影レンズ	16	像位置調整偏向器
18	遮蔽板	19	第2投影レンズ
22	反射電子検出器	23	ウェハ
24	ウェハステージ	25	ウェハステージ位置検出器
31	コントローラ		
41	小メンブレン領域	42	サブフィールド
43	スカート	44	エレクトリカルストライプ
45	グリレージ	47	ストラット

4 9 メカニカルストライプ

5 2 サブフィールド

7 1、7 3 透過率

8 1 電子散乱分布

9 1、9 3 遮蔽板

9 9 孔

5 0 チップ

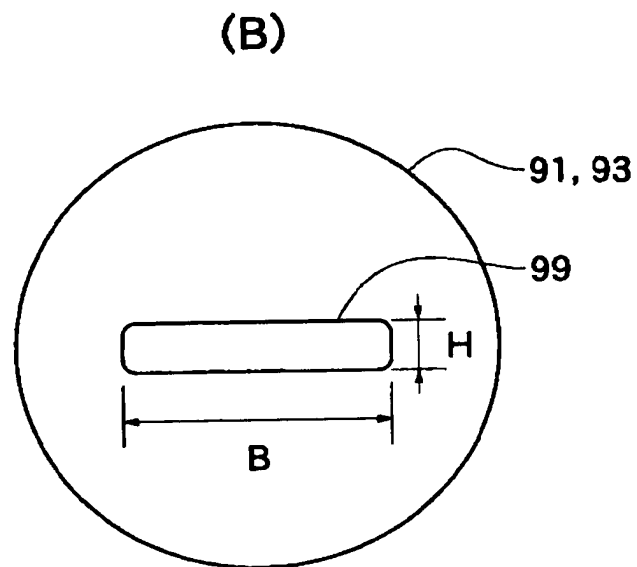
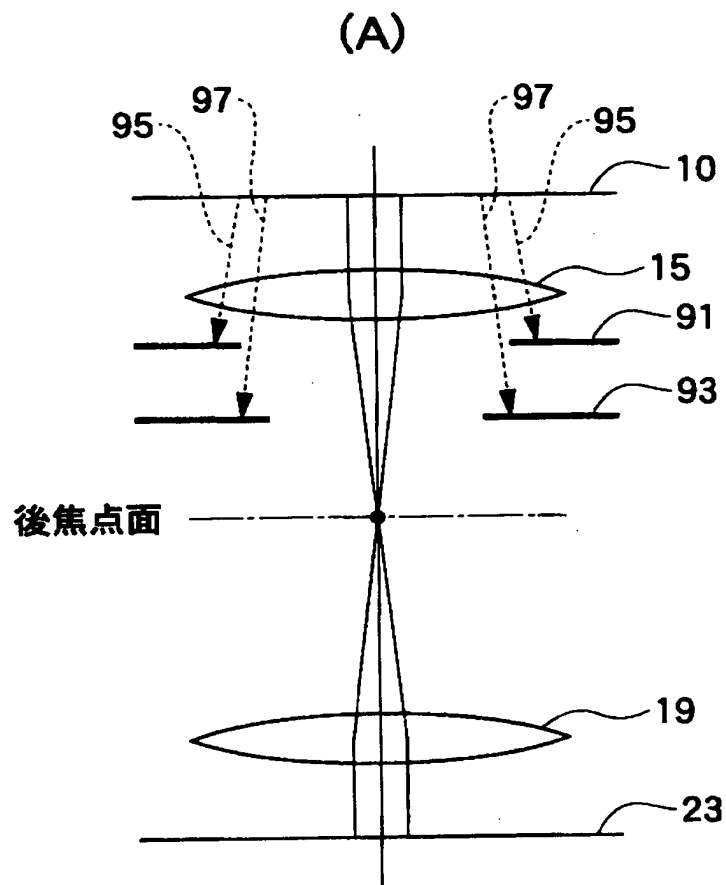
5 9 ストライプ

7 5、7 7 コントラスト

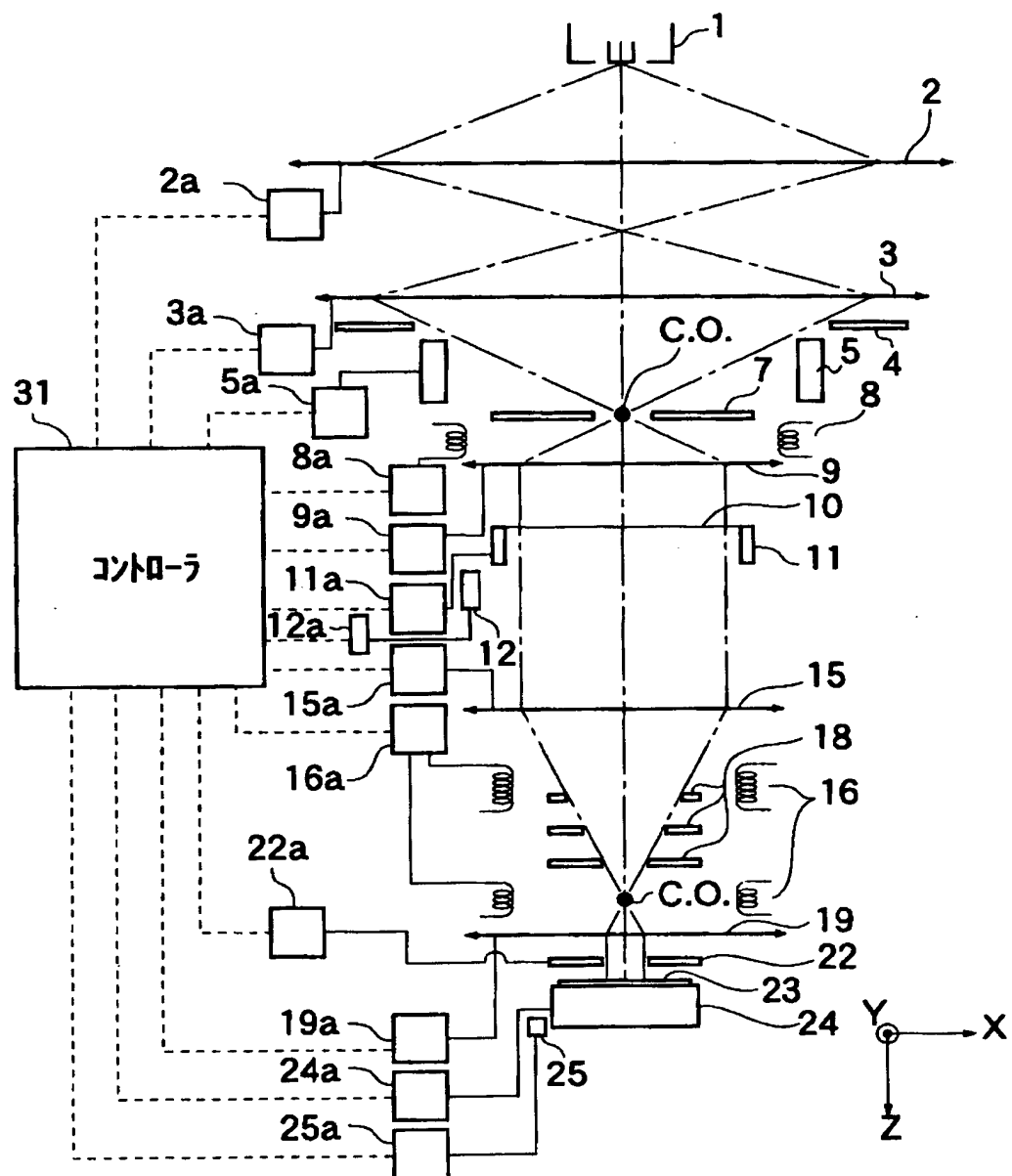
9 5、9 7 散乱電子

【書類名】 図面

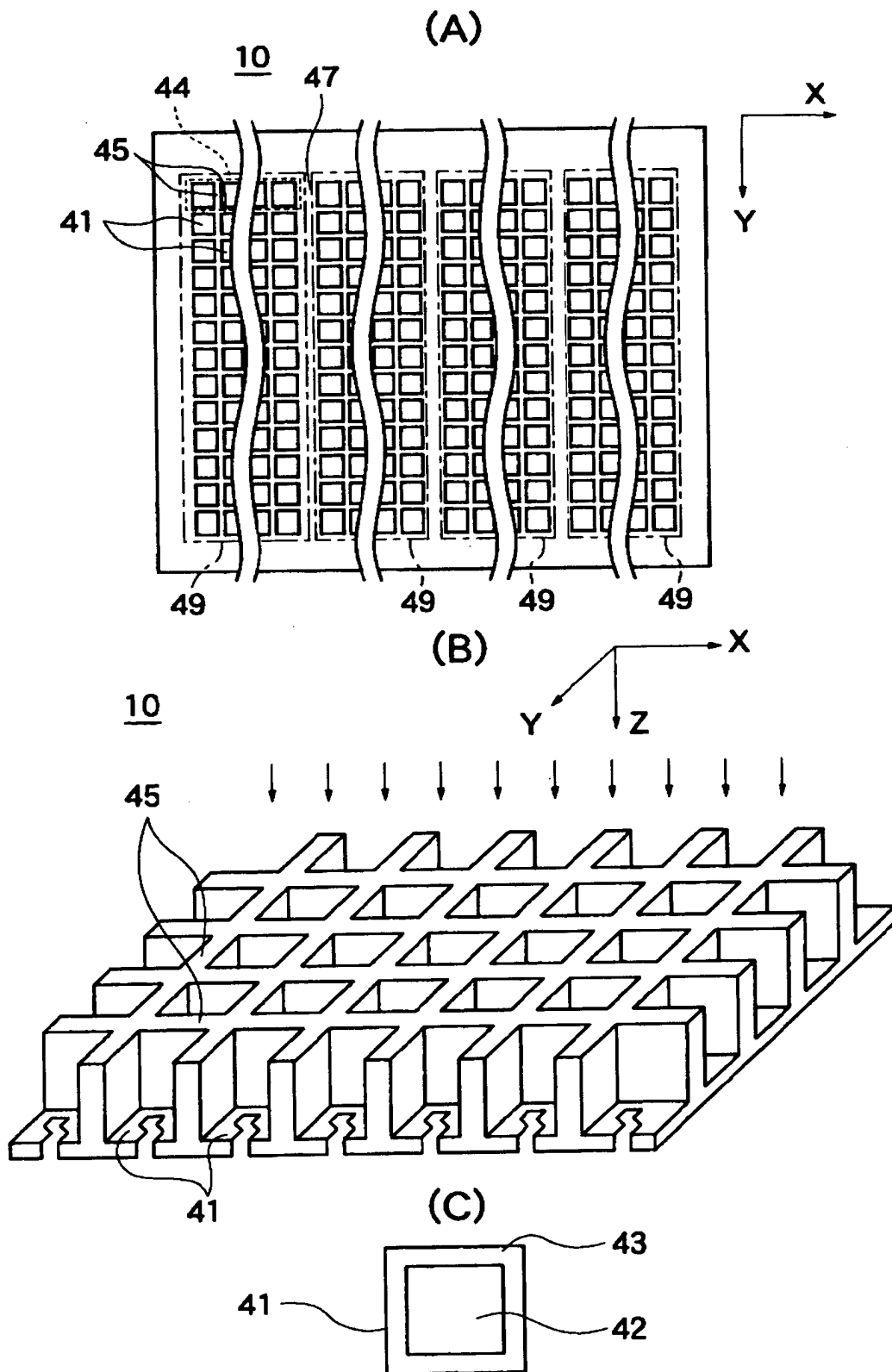
【図 1】



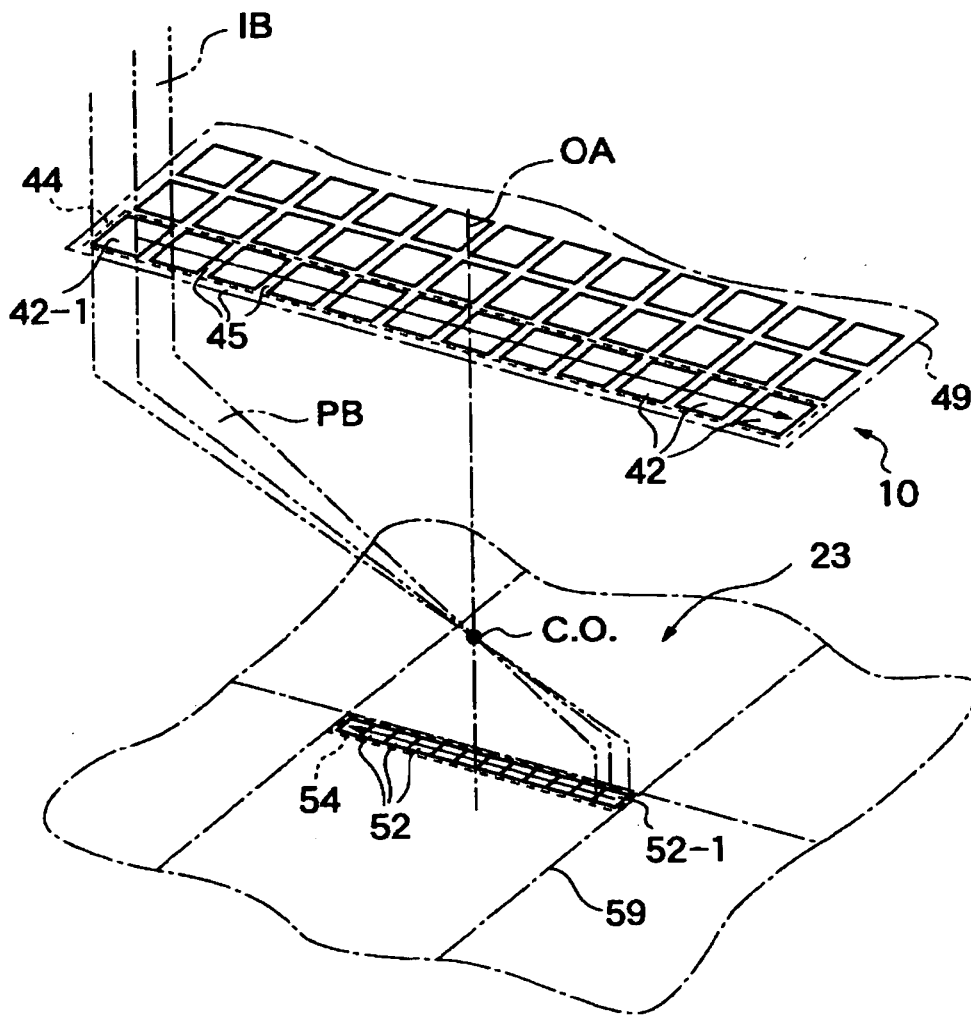
【図 2】



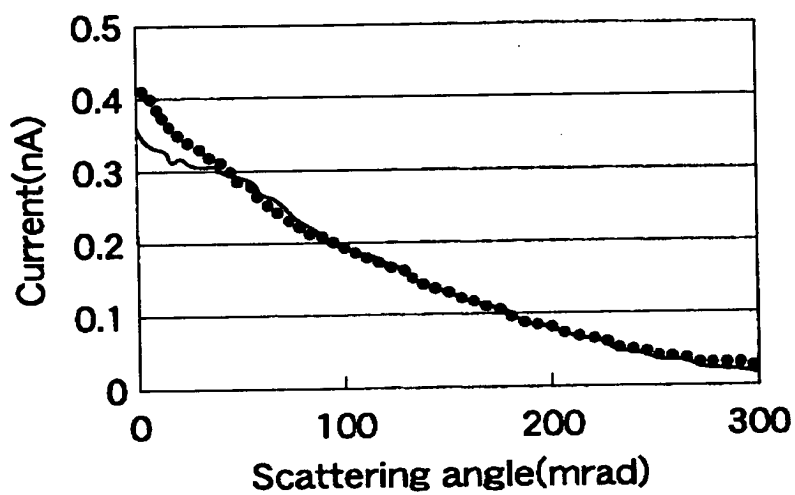
【図 3】



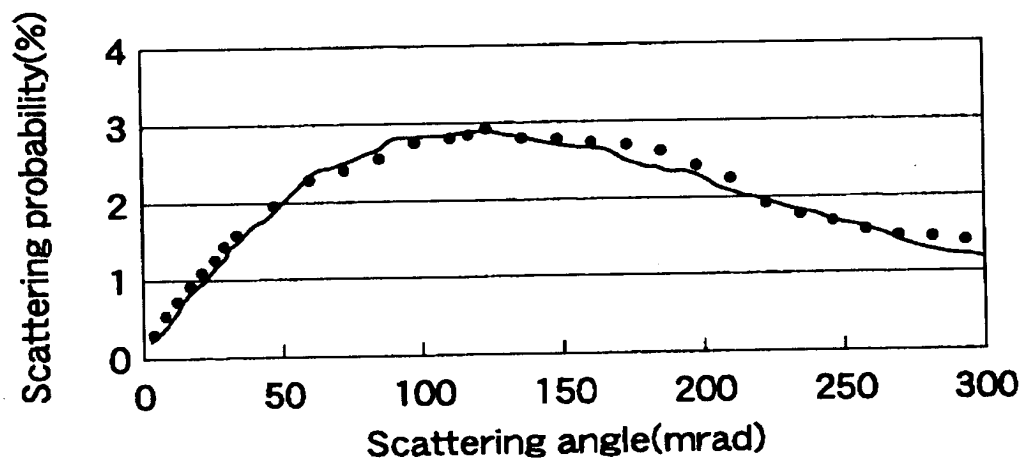
【図 4】



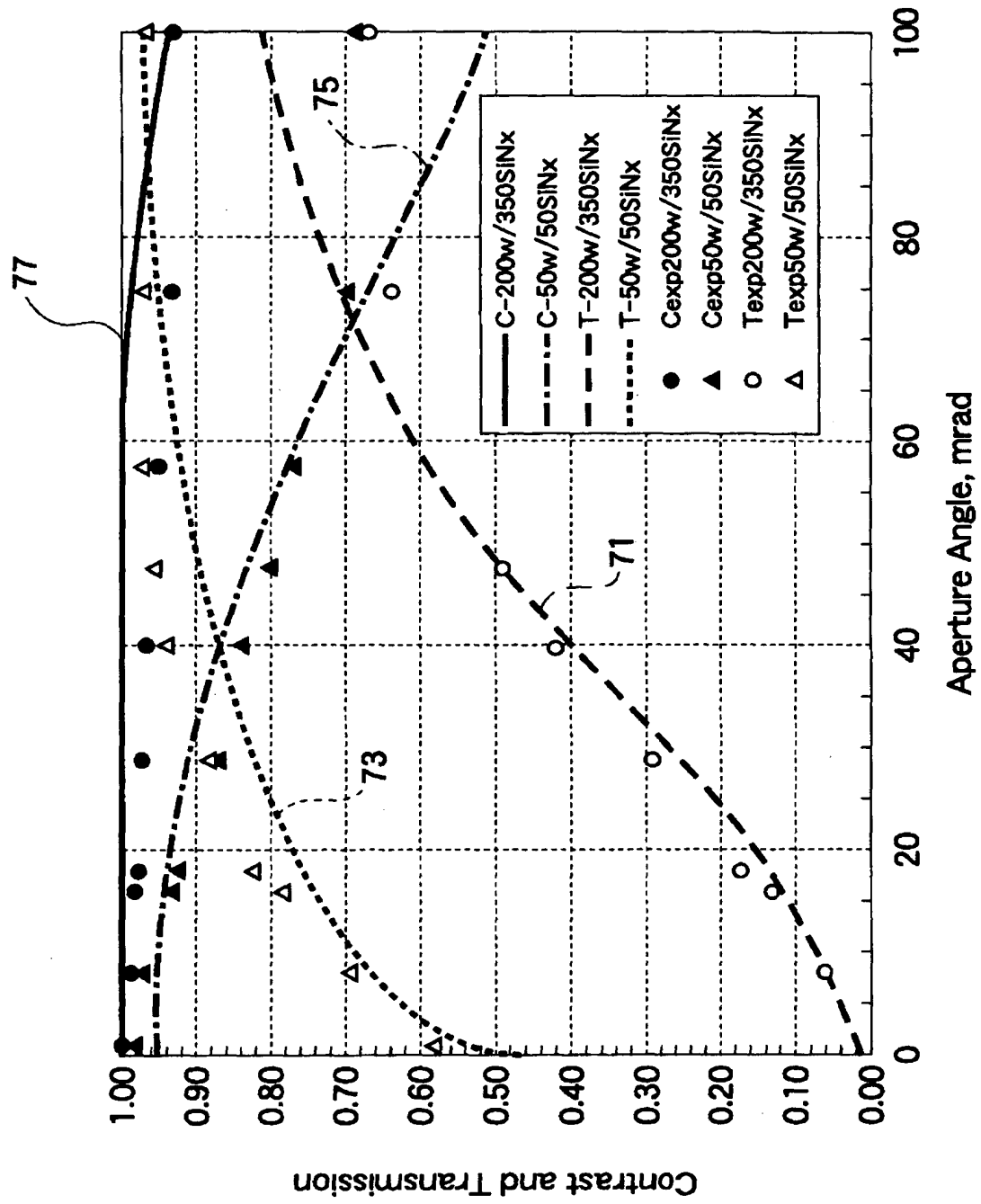
【図 5】



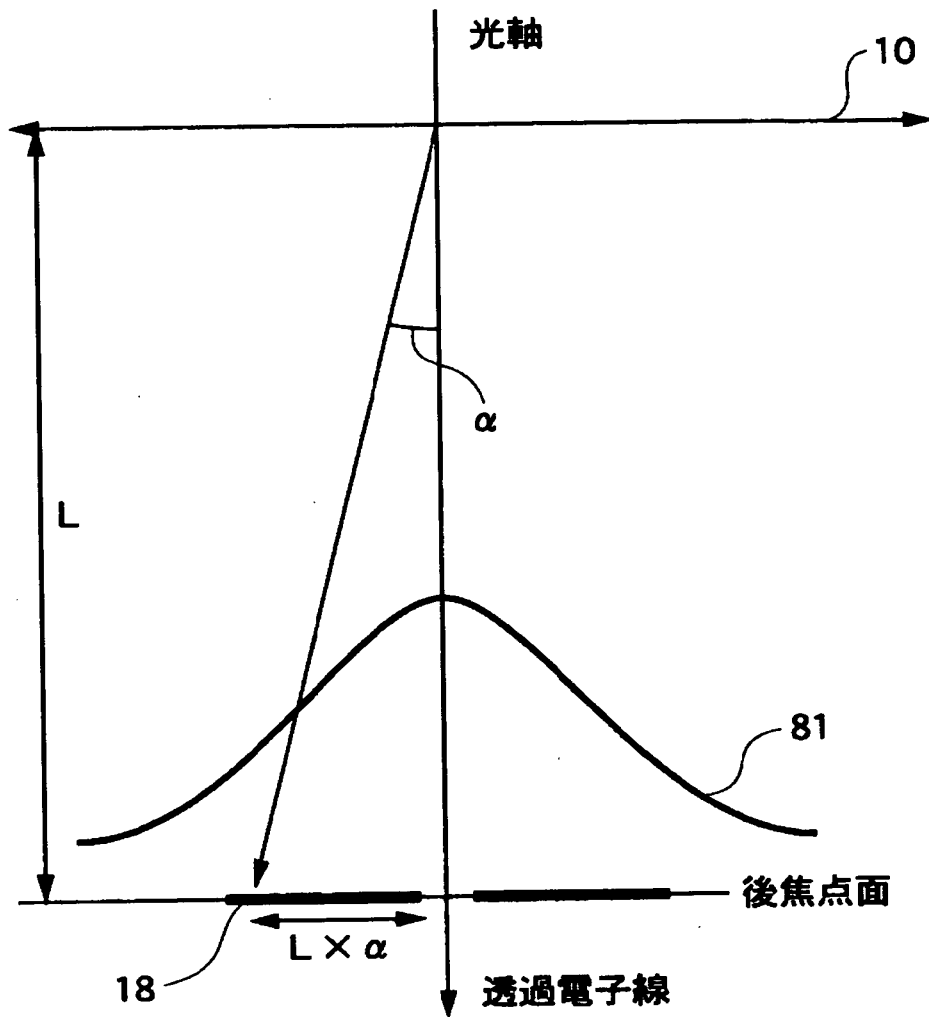
【図 6】



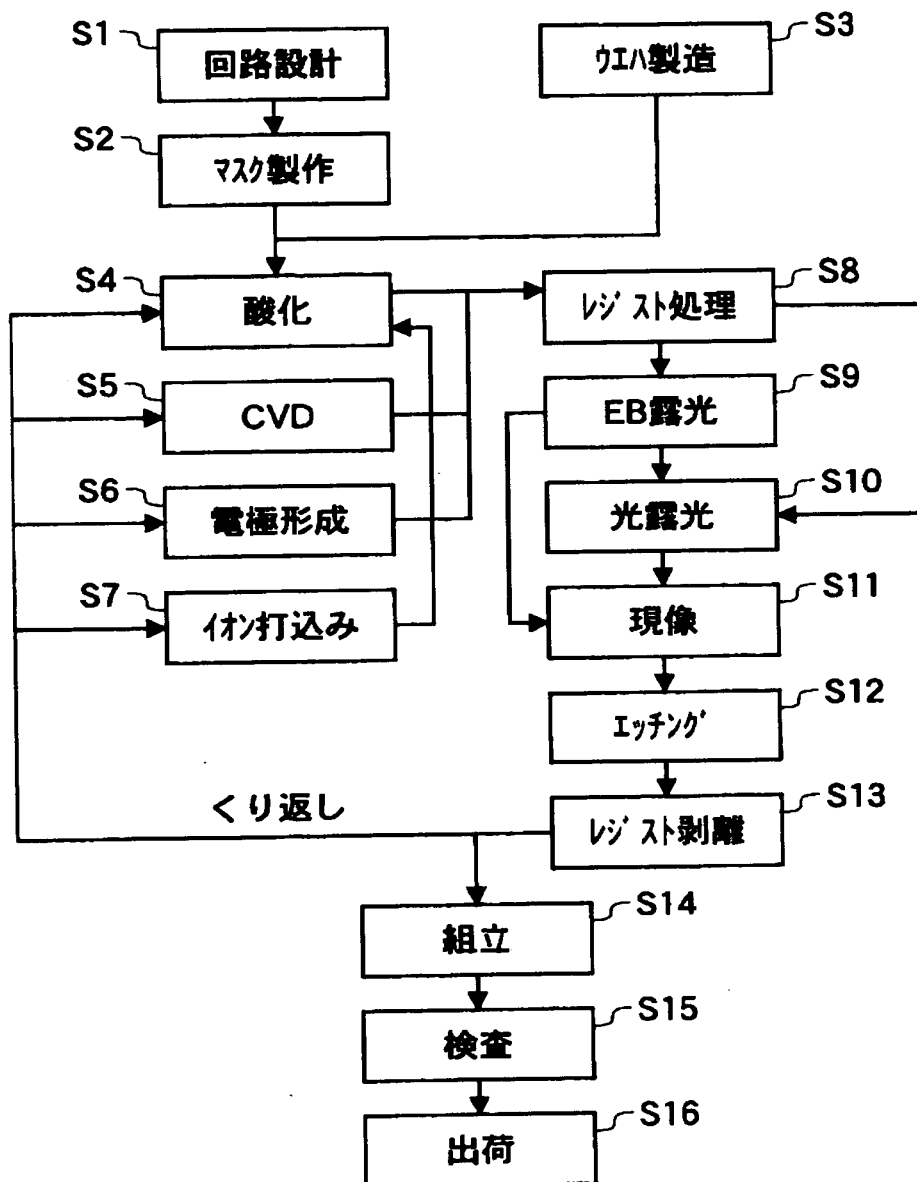
【図 7】



【図 8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定した荷電粒子ビームにより高精度な露光を行うことができる荷電粒子ビーム露光装置を提供する。

【解決手段】 第 1 投影レンズ 1 5 の下方に、複数の開口部の広い遮蔽板（絞り）を設置する。上方にある遮蔽板 9 1 の開口部は、下方にある遮蔽板 9 3 の開口部より大きい。遮蔽板の中央部分には、孔 9 9 が設けられている。孔 9 9 は、荷電粒子ビームの偏向方向に合わせて帯状に延びている。

【選択図】 図 1（A）

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 0 - 3 6 6 8 4 6
受付番号	5 0 0 0 1 5 5 2 0 3 9
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 2 年 1 2 月 4 日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年12月 1日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 1 1 2]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号
氏 名	株式会社ニコン